



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 0 720 663 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
11.06.1997 Bulletin 1997/24

(51) Int Cl.⁶: **C23C 2/24**

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/FR94/00907

(21) Numéro de dépôt: **94922281.4**

WO 96/02684 (01.02.1996 Gazette 1996/06)

(22) Date de dépôt: **20.07.1994**

(54) **PROCEDE DE DIMENSIONNEMENT D'UNE ENCEINTE DE GALVANISATION POURVUE D'UN DISPOSITIF D'ESSUYAGE MAGNETIQUE DE PRODUITS METALLURGIQUES GALVANISES**

DIMENSIONIERUNG EINES BESCHICHTUNGSBEHAELTERS MIT EINER MAGNETISCHEN WISCHVORRICHTUNG VON MIT FLUSSIGEM METALL BESCHICHTETEN METALLURGISCHEN MATERIALIEN

METHOD FOR DIMENSIONING AN ELECTROPLATING ENCLOSURE WITH A MAGNETIC WIPING DEVICE FOR ELECTROPLATED METALLURGICAL PRODUCTS

(84) Etats contractants désignés:
AT BE CH DE DK ES GB IE IT LI LU NL PT SE

• **SANCHEZ, Géraud**
F-78180 Montigny-le-Bretonneux (FR)

(43) Date de publication de la demande:
10.07.1996 Bulletin 1996/28

(74) Mandataire: **Bruder, Michel**
Cabinet Claude Guieu
10, rue Paul Thénard
21000 Dijon (FR)

(73) Titulaire: **DELOT PROCESS S.A.**
F-89600 Saint-Florentin (FR)

(56) Documents cités:
EP-A- 0 402 270
FR-A- 2 237 975
FR-A- 2 700 555

WO-A-93/18198
FR-A- 2 647 814

(72) Inventeurs:
• **DELOT, José**
F-77570 Château Landon (FR)

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la date de publication de la mention de la délivrance du brevet européen, toute personne peut faire opposition au brevet européen délivré, auprès de l'Office européen des brevets. L'opposition doit être formée par écrit et motivée. Elle n'est réputée formée qu'après paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

EP 0 720 663 B1

Description

La présente invention concerne un procédé de dimensionnement d'une enceinte de galvanisation pourvue d'un dispositif d'essuyage magnétique de produits métallurgiques galvanisés, notamment utilisable dans le cadre d'un procédé de galvanisation en continu.

On sait, par les résultats classiques de l'hydrodynamique, que les forces d'inertie (pesanteur principalement) et les forces de frottement (viscosité, influence de la nature de la paroi) gouvernent totalement l'évolution de l'écoulement d'un liquide de revêtement au voisinage de la surface d'un produit métallurgique à recouvrir.

Or, dans des conditions de réactivité données que l'on négligera par la suite pour ce qui concerne l'objet de l'invention, l'évolution de l'écoulement dans la zone proche dudit produit conditionne grandement l'épaisseur finalement déposée sur ce dernier.

A cet égard, l'établissement d'un écoulement laminaire paraît a priori souhaitable en ce sens qu'il permet, dans l'approximation usuelle de la couche limite, de relier par des lois simples et connues les grandeurs physiques caractéristiques de l'écoulement, à savoir le profil des vitesses par rapport à la surface du produit métallurgique, lui-même entraîné à une vitesse constante, la viscosité dynamique du liquide de recouvrement, sa densité et la tension superficielle entre ledit produit métallurgique et ledit liquide (paramètres de mouillabilité). L'épaisseur déposée est alors conditionnée par celle du film liquide qui est drainé par le produit métallurgique lorsqu'on le tire hors du bain liquide, une approximation utilisable étant, dans ce cas, celle établie par Landau et Levitch dans un article référencé Acta Physicochimica URSS Vol 17, n°1-2, 1942 : "Dragging of a liquid by a moving plate".

Or, dans ce cas laminaire idéal, l'épaisseur obtenue est souvent trop importante pour les applications de galvanisation souhaitées ; c'est pourquoi on a imaginé diverses formes d'essuyage, c'est-à-dire de réduction de l'épaisseur déposée et, principalement, on a proposé des techniques d'essuyage pneumatique (action de lames d'air formant une contre-pression sur la surface libre du produit métallurgique émergeant du bain liquide), des techniques d'essuyage mécanique (action de rouleaux venant "lécher" le produit métallurgique au moyen de tampons en amiante) et, enfin, des techniques d'essuyage magnétique, la présente invention relevant de cette dernière catégorie.

Il existe à ce jour un nombre très important de dispositifs antérieurs d'essuyage magnétique. Cette dernière technique préconise d'utiliser la force de Lorenz qui peut être développée dans le liquide de recouvrement par un champ magnétique, statique ou alternatif, fixe ou glissant, du fait de la présence des courants électriques induits dans ledit liquide (évidemment conducteur lorsqu'il s'agit de zinc, de cuivre ou d'aluminium) par le déplacement relatif dudit liquide et dudit champ. Dans tous les cas qui seront discutés par la suite, la

force de Lorenz est censée s'opposer aux forces d'inertie et de viscosité agissant sur l'écoulement, pour autant bien sûr qu'elle soit suffisamment intense pour modifier le profil des vitesses à proximité de la surface du produit métallurgique. On comprend donc qu'il soit a priori possible d'agir par un champ magnétique sur l'épaisseur de la couche limite, que ce soit d'ailleurs :

- dans le bain liquide de recouvrement, avant la sortie du produit métallurgique, l'action du champ venant contrebalancer directement les forces d'inertie, en se soustrayant principalement à la pesanteur,
- hors du bain, l'action du champ se faisant sentir uniquement sur le film liquide entraîné,
- ou encore par combinaison de ces deux effets.

A cet égard, les techniques connues sous les noms respectifs des sociétés les ayant développées, à savoir ASEA, ARBED, AUSTRALIAN WIRE et LYSAGHT, montrent des exemples de réalisation couvrant à peu près l'ensemble des techniques mises en oeuvre à ce jour. Par exemple, dans le brevet FR-2 412 109 au nom de AUSTRALIAN WIRE IND PROPRIETARY, il est préconisé d'employer un champ électromagnétique monophasé fixe, c'est-à-dire non glissant, dont on fait varier soit l'intensité soit la fréquence pour régler l'épaisseur déposée. Dans le brevet FR-2 410 247 au nom de JOHN LYSAGHT AUSTRALIA LIMITED, un dispositif analogue est montré mais les géométries sont différentes de celles utilisées dans le brevet précédent avec, en outre, des fréquences de pulsation du champ magnétique préférentiellement établies autour de 30 kHz. Dans la technique antérieure ARBED, décrite dans le brevet BE-882 069, il est envisagé entre autre d'utiliser un champ électromagnétique glissant agissant sur l'excédent de métal liquide entraîné par une tôle sortant d'un bain de galvanisation. Enfin, dans le brevet DE-2 023 900 (au nom de ASEA), l'ensemble de possibilités d'essuyage hors du bain de galvanisation est montré (champ alternatif fixe longitudinal, transversal ou champ glissant).

Or, les inventeurs se sont aperçus que cette action du champ magnétique n'est sensible, et donc efficacement contrôlable, que dans la mesure où les phénomènes purement hydrodynamiques ne viennent pas masquer les effets d'origine magnétique recherchés. Il est facile de voir que ce point n'est jamais abordé dans aucune des techniques d'essuyage magnétique antérieures et qu'il semble bien, par conséquent, que le problème posé en l'espèce soit tout à fait nouveau.

En particulier, dans tous les brevets antérieurs relatifs à l'essuyage magnétique, les produits métallurgiques à recouvrir traversent verticalement un bain de galvanisation dont la surface libre est horizontale ; il n'existe donc, dans ce cas, aucune possibilité pour le liquide de recouvrement de fuir hors de l'enceinte de galvanisation. Cependant, les contraintes nouvelles de l'industrie du traitement des surfaces conduisent à rechercher des solutions d'essuyage magnétique pour une instal-

lation de galvanisation en continu telle que décrite dans le brevet FR-2 647 814 au nom de FRANCE GALVA LORRAINE, qui est disposée à l'horizontale; d'autres réalisations du même genre sont également connues, notamment par les brevets GB-A-777 213 et US-A-2 834 692. On rappelle que, dans ce type d'installations, l'enceinte de galvanisation présente des orifices d'entrée et de sortie alignés sur le défilement des produits à traiter, le niveau supérieur du bain liquide de recouvrement étant situé au-dessus desdits orifices; de ce fait, il est nécessaire de prévoir des dispositifs d'étanchéité chargés de compenser la pression hydrostatique qui tend, sinon, à faire s'écouler ledit liquide au dehors de l'enceinte. A cet égard, on peut penser qu'une induction magnétique continue ou alternative, d'un type généralement employé pour l'essuyage magnétique, peut, par un mécanisme physique identique, contribuer à retenir au moins partiellement le liquide dans l'enceinte.

Or, dans la mesure où un champ alternatif fixe ne développe, par principe, aucune force de nature rotationnelle dans le liquide de recouvrement (à l'inverse d'un champ glissant), une force de Lorenz suffisamment intense pour compenser les forces d'inertie du bain de galvanisation ne peut être générée, avec ce type de champ, que pour une fréquence très élevée et/ou un champ magnétique intense; ce qui conduit, dans le premier cas, à une épaisseur de peau (profondeur de pénétration du champ dans le liquide conducteur) trop faible pour espérer retenir ledit liquide de recouvrement au voisinage du produit métallurgique et, dans le second cas, à un surdimensionnement coûteux de l'installation. Par conséquent, l'utilisation d'un dispositif d'essuyage magnétique à champ alternatif fixe comme moyen d'étanchéité d'une enceinte de galvanisation horizontale est quasiment exclue.

D'un autre côté, on s'est aperçu que les seuls produits métallurgiques pouvant être traités avec les installations d'essuyage magnétique antérieures sont systématiquement lisses. Or, dans la pratique, les inventeurs ont remis en évidence le rôle substantiel joué par la rugosité de la surface des produits traités, notamment dans le cas d'une non-validité de l'approximation généralement implicitement admise de la laminarité de l'écoulement du liquide de recouvrement au voisinage de ladite surface. A cet égard, dans l'hypothèse où des phénomènes de turbulence hydrodynamique apparaissent, on sait que la rugosité des produits traités intervient d'autant plus que le liquide de recouvrement se situe dans un espace confiné - ce qui est toujours le cas au milieu de l'entrefer ou de l'enroulement d'un système électromagnétique créant l'induction nécessaire au développement d'une force de Lorenz notable dans ledit liquide -.

On a enfin observé, en rapport avec la remarque qui précède, que les dimensions transversales et la longueur de l'enceinte de confinement du bain de galvanisation n'étaient pas sans importance du point de vue hydrodynamique. De même, la zone de transition entre

le fourreau et le dispositif d'étanchéité et/ou le dispositif d'essuyage magnétique, ainsi que les dimensions transversales et la longueur du canal de sortie autour duquel on crée une induction magnétique chargée de l'étanchéité et/ou de l'essuyage magnétique, jouent un rôle en fait prédominant sur la qualité et l'épaisseur de la couche déposée; certaines des conditions obtenues sont mêmes contradictoires avec les tendances antérieurement mises en oeuvre dans le cas de la galvanisation de produits lisses.

A partir de ces différents constats, la présente invention vise donc :

- à mettre en évidence le problème nouveau de la réalisation d'un dispositif combiné d'étanchéité et d'essuyage magnétique horizontal, lié à des choix technologiques récents,
- à proposer diverses solutions pratiques sur le dimensionnement correct dudit dispositif d'essuyage magnétique, en fonction notamment de la géométrie des produits traités, ces solutions étant d'ailleurs également applicables aux installations de galvanisation verticales,
- à permettre la prévision de l'épaisseur déposée sur des produits substantiellement rugueux (par exemple des fers à béton), ce qui s'avérerait impossible jusqu'à présent.

A cet effet, la présente invention concerne tout d'abord un procédé de dimensionnement d'une enceinte de galvanisation pourvue d'au moins un dispositif d'étanchéité et/ou d'essuyage du côté d'où ressortent les produits métallurgiques ayant traversé un bain liquide de recouvrement contenu dans ladite enceinte, ledit dispositif étant préférentiellement un élément inducteur agencé à cet effet autour d'un canal de sortie de l'enceinte pour produire un champ électromagnétique transverse, alternatif et glissant, au niveau de la surface desdits produits, caractérisé en ce qu'il consiste à calculer ou à vérifier, à partir principalement : des dimensions transversales de ladite enceinte, de sa longueur axiale, de la section transversale desdits produits, de leur vitesse, de la viscosité dynamique dudit liquide de recouvrement, de sa pression dans l'enceinte, des dimensions transversales du canal de sortie de l'enceinte, de la vitesse de déplacement du champ électromagnétique glissant et de son intensité dans ledit liquide, et enfin d'un paramètre représentatif de la rugosité éventuelle des produits métallurgiques, les conditions pour lesquelles les longueurs de Couette associées respectivement à l'écoulement du liquide de recouvrement dans l'enceinte et dans son canal de sortie restent inférieures aux valeurs critiques au-delà desquelles lesdits écoulements deviennent nettement turbulents.

On rappelle qu'un écoulement de Couette est celui qui caractérise un fluide incompressible et visqueux, conducteur ou non, situé entre deux plaques parallèles supposées infinies dont l'une est mise en mouvement

parallèlement à elle-même ; l'objet du calcul hydrodynamique de Couette est d'établir les paramètres régissant le profil des vitesses de l'écoulement entre les deux plaques, des complications pouvant intervenir en fonction de la rugosité des surfaces en contact avec le fluide ; on parle d'un écoulement en cisaillement.

Les principes de similitude utilisés en mécanique des fluides classique, pour résoudre de manière adimensionnelle des problèmes d'écoulement complexe, montrent que le modèle de Couette est applicable au problème de l'écoulement axisymétrique d'un liquide mis en mouvement dans un espace annulaire dont le noyau se déplace à une vitesse supposée constante. Par conséquent, ce modèle est applicable :

- d'une part, au calcul du profil des vitesses de l'écoulement du liquide de recouvrement qui est situé entre les parois longitudinales de l'enceinte de galvanisation cylindrique et le produit métallurgique circulant axialement au travers de cette dernière et,
- d'autre part, au calcul du profil des vitesses de l'écoulement du liquide de recouvrement qui est situé entre les parois du canal de sortie de l'enceinte et ledit produit.

Selon l'invention, on s'est aperçu que ces deux écoulements (bien sur continus) conditionnent fortement l'épaisseur de la couche limite, laminaire ou turbulente, qu'il convient de prendre en compte pour calculer l'épaisseur du film liquide entraîné par le produit métallurgique lorsqu'il émerge, à la verticale ou à l'horizontale, hors de la surface libre du bain liquide contenu dans l'enceinte de galvanisation.

D'une manière générale, l'épaisseur de la couche limite laminaire ou turbulente de l'écoulement à l'entrée du canal de sortie de l'enceinte de galvanisation doit être maintenue en dessous d'une valeur limite au delà de laquelle il n'est plus possible de contrôler son augmentation. Cet effet résulte directement de ce que, conformément aux résultats établis par la théorie de la magnétohydrodynamique, les champs magnétiques s'amortissent beaucoup plus vite que la vorticité dans les liquides conducteurs ; comme la vorticité, dénommée également vecteur tourbillon, est directement représentative de la turbulence de l'écoulement, on comprend qu'il faille limiter son influence au niveau des zones du liquide de recouvrement où l'on désire faire agir la ou les forces magnétiques de Lorenz. Ainsi, dans le cas favorable où les longueurs de Couette de l'écoulement dans l'enceinte et son canal de sortie sont connues et maîtrisées, le dimensionnement du dispositif d'étanchéité et/ou d'essuyage de l'enceinte de galvanisation peut s'exprimer par l'intermédiaire des nombres sans dimension usuels en magnétohydrodynamique, à savoir le nombre de Reynolds magnétique, le paramètre d'interaction, le nombre de Hartmann ainsi que deux paramètres liés à la géométrie du champ magnétique alternatif glissant qui est choisi pour créer la ou les forces

magnétiques de Lorenz à l'intérieur de l'écoulement.

A cet égard, la solution posée par l'invention va tout d'abord dans le sens d'une réduction de la longueur de l'enceinte de galvanisation qui, en fonction de ses dimensions transverses et de la vitesse du produit, doit rester inférieure à la longueur de Couette hydrodynamique de l'écoulement. Cette règle n'est d'ailleurs pas contradictoire avec les conditions notamment posées dans le brevet FR-2 323 772 au nom de José DELOT ; dans ce dernier brevet, il est en effet mis en évidence que l'usage d'une enceinte de galvanisation courte et de faible volume est suffisante pour obtenir une réaction métallurgique correcte entre le produit à traiter et le liquide de recouvrement, pour autant que le produit à galvaniser ait été décapé, chauffé et maintenu sous atmosphère contrôlée au moins en amont de l'enceinte de galvanisation.

D'un autre côté, puisque le dimensionnement correct de l'enceinte de galvanisation et de son canal de sortie permet essentiellement d'inhiber les conditions d'apparition de la turbulence, l'écoulement dans la zone de sortie du bain de galvanisation est proche de l'écoulement normalement laminaire qui existe au niveau de la sortie des produits traités dans les installations de galvanisation verticales ; ce qui signifie simplement que la force de Lorenz volumique, développée dans le bain liquide par le champ alternatif glissant, joue, en fait, un rôle analogue à la pesanteur. Cette "hypothèse gravitaire" des forces magnétiques de Lorenz, développées dans le bain de galvanisation par l'élément inducteur agencé à cet effet autour du canal de sortie de l'enceinte de galvanisation, permet de considérer que la forme du ménisque formé entre la surface libre du bain et le produit métallurgique qui en est extrait conditionne presque totalement l'épaisseur du revêtement déposé sur ledit produit. Par conséquent, dans les conditions strictes posées par l'invention, cette épaisseur sera donnée par une formule tout à fait analogue à celle utilisée dans le modèle hydrodynamique de Landau et Levitch, dont on a cité plus haut les références.

On observera également que, si le ménisque est maintenu suffisamment près de l'entrée du canal de sortie de l'enceinte - ce qui est souhaitable si on veut rester en-de   de la longueur de Couette correspondant à cette partie de l'enceinte - et que la zone de l'élément inducteur où est généré le champ magnétique glissant est relativement longue, il est encore possible d'agir efficacement sur la réduction de l'épaisseur du film liquide se formant au niveau dudit ménisque. A cet égard, on rappelle que, par principe, les forces d'inertie dues à la pression isostatique du bain liquide dans l'enceinte de galvanisation et à l'effet d'entraînement du produit métallurgique se trouvent compensées dès la sortie du ménisque ; par conséquent, derrière ledit ménisque, les forces volumiques de Lorenz agissent seules sur le film liquide adhérant au produit métallurgique et tendent à amincir ledit film, constituant ainsi un "véritable" essuyage magnétique (c'est-à-dire débarrassé de toute consi-

dération relative à l'étanchéité). L'essuyage magnétique dans le canal de sortie de l'enceinte, du moins en aval du ménisque, est donc similaire à l'étude connue de l'aminçissement d'un écoulement liquide barotrope dit "à surface libre" (barotrope car l'hypothèse gravitaire demeure valable).

Enfin, selon une caractéristique particulièrement avantageuse du procédé de dimensionnement conforme à l'invention, on sait tenir compte de la rugosité du produit métallurgique traité sur la nature de l'écoulement et, donc, sur l'épaisseur de revêtement déposée en sortie de l'enceinte de galvanisation. Préférentiellement, le modèle retenu pour ce faire est celui de Karman-Nikuradzé. Ce modèle, largement éprouvé dans le domaine de l'hydrodynamique, permet de connaître, notamment par le biais d'abaques, le coefficient de frottement à prendre en compte suivant la rugosité du produit et le nombre de Reynolds hydraulique de l'écoulement. Plus généralement, la prise en compte de ce que les hydrodynamiciens appellent la "loi de paroi" (qui dépend proportionnellement à la perte de charge) est essentielle à la connaissance fine de l'écoulement même, d'ailleurs, dans le cas de produits métallurgiques lisses puisque, ainsi qu'on le constatera par la suite, la loi de paroi influence d'une manière considérable sur le comportement de l'écoulement au voisinage immédiat du produit métallurgique à revêtir.

D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention ressortiront encore de la description qui va suivre d'un exemple de dimensionnement d'une enceinte de galvanisation horizontale, pourvue d'un canal de sortie autour duquel est aménagé un élément inducteur créant un champ alternatif glissant de direction axiale, cette enceinte étant plus particulièrement destinée au traitement de fils lisses ou rugueux tels que des fers à béton, cet exemple non limitatif de l'invention étant illustré sur le dessin annexé sur lequel :

- la figure 1 est une vue en coupe longitudinale de l'enceinte, de son canal de sortie, de l'élément inducteur, du fil traité,
- la figure 2 est un graphe donnant, d'une part, l'épaisseur de zinc déposée sur un fer à béton de rugosité et de diamètre donnés en fonction de sa vitesse de défilement au travers de l'enceinte de galvanisation et, d'autre part, la longueur sur laquelle pénètre le zinc fondu à l'intérieur du canal de sortie de ladite enceinte.

L'enceinte de galvanisation 1 représentée sur la figure annexée comporte deux orifices d'entrée 2 et de sortie 3 alignés sur le passage d'un produit métallurgique 4 à galvaniser ; ce produit 4 est, dans l'exemple choisi, un fil en acier lisse ou un fer à béton, présentant donc des crantages répartis plus ou moins régulièrement le long de sa surface. L'enceinte 1 est disposée à l'horizontale, en aval d'un ensemble de dispositifs de décapage et de chauffage, par exemple par induction, et

en aval d'un dispositif de refroidissement, par exemple à l'eau, ces différentes unités classiques de post- et de pré-traitement n'étant pas illustrées sur les dessins afin de ne pas obscurcir la représentation des moyens de galvanisation et d'essuyage dont il est ici question.

L'enceinte de galvanisation 1 est destinée à contenir un bain liquide d'un produit de revêtement, préférentiellement un alliage métallique fondu tel que zinc, cuivre, aluminium et leurs alliages habituels (le bain pouvant donc également contenir de faibles proportions de plomb, etc...). Etant disposée à l'horizontale, les orifices d'entrée 2 et de sortie 3 de l'enceinte 1 doivent être pourvus de moyens d'étanchéité interdisant au bain liquide de fuir par lesdits orifices 2, 3 ; dans le cas ici décrit de produits métallurgiques 4 substantiellement cylindriques, on choisit d'employer des enroulements inducteurs polyphasés 5, 6, qui sont respectivement disposés autour des canaux d'entrée 7 et de sortie 8 de l'enceinte 1 pour générer, à la manière de moteurs linéaires synchrones, une contre-pression magnétique sur le produit liquide conducteur ayant tendance à s'écouler par inertie au travers desdits canaux d'entrée 7 et de sortie 8 ; les dimensions transversales de ces derniers canaux 7, 8 sont calculées en fonction du diamètre du produit métallurgique 4, de sa perméabilité magnétique relative (de l'ordre de 20 pour l'acier) et de l'intensité du champ magnétique glissant engendré par la circulation d'un courant électrique dans les bobines des inducteurs 5, 6 pour que, dans l'espace annulaire longitudinal séparant le produit 4 et les parois internes des canaux 7, 8, les lignes du champ magnétique soient substantiellement transverses au déplacement axial dudit produit 4. Dans le cas du traitement de produits cylindriques à section non circulaires, tels que plats, bandes et autres profilés, on s'efforcera également de créer un champ magnétique transverse glissant au niveau de l'espace annulaire correspondant à la géométrie en question, ce qui est toujours possible à l'aide de feuilletages ou de peignes magnétiques conformant le champ magnétique de la manière souhaitée. En outre, comme on se contentera normalement de produire un champ magnétique glissant de fréquence peu élevée, typiquement inférieure à quelques centaines de herz et préférentiellement égale à 50 herz, les pertes magnétiques occasionnées, par exemple dans les feuilletages magnétiques, demeureront faibles.

Etant donné que le processus de galvanisation nécessite un apport permanent de produit liquide de revêtement dans l'enceinte 1, compensant au fur et à mesure celui qui se dépose sur les produits métallurgiques 4 défilant au travers elle, un canal d'alimentation 9, ici vertical, relie une réserve de produit liquide à ladite enceinte 1 ; afin que les perturbations hydrodynamiques résultant de cet apport soient le plus faibles possibles, on opte, selon une caractéristique avantageuse de l'invention, pour une position centrale de l'embouchure dudit canal d'alimentation 9 par rapport aux deux canaux d'entrée 7 et de sortie 8 de l'enceinte 1. Sur l'enceinte

de galvanisation 1, on a également aménagé un canal d'équilibre 10, placé verticalement à une position centrale correspondant par exemple à celle du canal d'alimentation 9, et dans lequel le produit liquide de recouvrement s'introduit sur une hauteur dont la mesure permet de connaître avec précision la pression isostatique du bain de galvanisation ; en outre, la surface libre de la colonne liquide du bain se trouvant dans le canal d'équilibre 10 est normalement en contact avec un gaz protecteur dont la pression peut, le cas échéant, être modifiée par des moyens de compression conventionnels. A cet égard, l'ensemble de l'installation de galvanisation est préférentiellement maintenue sous une atmosphère contrôlée, neutre ou légèrement réductrice, pour des raisons métallurgiques par ailleurs parfaitement connues de l'homme de l'art.

D'un autre côté, ainsi qu'on la déjà dit plus haut dans la description, la zone de transition 11 entre la zone centrale de l'enceinte 1 et son canal de sortie 7 est une tuyère convergente, ce qui permet de limiter les risques de turbulence du produit liquide s'écoulant à ce niveau de ladite enceinte 1.

Selon la présente invention, le problème se pose tout d'abord de dimensionner l'enroulement inducteur polyphasé 6 de sortie pour qu'une étanchéité puisse exister au niveau de l'orifice de sortie 3 de l'enceinte 1, puis de dimensionner l'ensemble des autres paramètres de l'installation permettant d'obtenir l'essuyage souhaité. On abordera maintenant successivement ces deux aspects de l'invention.

1. Problème de l'étanchéité

Le problème de l'étanchéité nécessite de connaître, ainsi qu'on l'a défini plus haut, la pression hydrodynamique totale s'exerçant jusqu'au ménisque d'équilibre (ou surface libre) du liquide de recouvrement dans le canal de sortie 8 de l'enceinte 1 ; la connaissance de la pression totale permet ensuite de calculer la force volumique de Lorenz qui est nécessaire au maintien de la surface libre du liquide de recouvrement à un certain niveau du canal de sortie 8 de ladite enceinte 1, selon les principes énoncés plus haut.

Comme les dimensions transversales de l'enceinte 1 sont normalement peu importantes par rapport à la dimension transversale du produit métallurgique 4 à traiter, il est nécessaire de traiter l'écoulement liquide dans l'enceinte 1 comme un écoulement de Couette axi-symétrique, s'établissant dans l'espace annulaire compris entre le produit 4 et les parois internes de ladite enceinte 1. Les règles de similitude applicables en la matière montrent ainsi que cet écoulement annulaire est similaire à l'écoulement du même liquide entre deux plaques planes distantes de quatre fois la valeur de l'espace annulaire (ce qui sera montré par la suite), l'une des deux plaques se déplaçant exactement à la vitesse du produit métallurgique 4 qui traverse l'enceinte de galvanisation 1.

Bien entendu, un calcul de Couette analogue doit aussi être effectué pour connaître les conditions physiques de l'écoulement dans la partie du canal de sortie 8 de l'enceinte 1 où s'introduit le liquide de recouvrement.

1.1 Calcul de la pression totale à compenser pour étancher l'enceinte

Cette dernière est la somme des pressions partielles suivantes :

- la pression partielle isostatique P_{iso} dans la partie centrale de l'enceinte 1, dont la valeur est simplement donnée par le calcul classique d'Archimède, à savoir par le produit de la densité volumique du liquide (zinc fondu), de l'accélération de la pesanteur et de la hauteur de liquide comprise entre les parois de l'enceinte 1 et le produit 4 ; pour une colonne de zinc fondu à 450 °C, et une hauteur de zinc de 2 centimètres, cette première pression partielle vaut 1350 Pa (ou 135 mbars dans les unités usuelles). On notera que la pression d'alimentation de l'enceinte 1, au travers du canal d'alimentation 9, équilibre par contre totalement la contribution due à la hauteur de zinc dans le canal d'équilibre 10.
- la pression partielle due au dispositif d'étanchéité amont, c'est-à-dire à l'enroulement inducteur polyphasé 5 aménagé autour du canal d'entrée 7 de l'enceinte de galvanisation 1 ; cette pression sera supposée venir juste équilibrer les forces d'inertie à l'orifice d'entrée 2, ce qui est vrai dans tous les cas puisque cette pression aval contribue, de fait, à la hauteur de la colonne du liquide de recouvrement dans le canal d'équilibre 10.
- la pression partielle P_c qui résulte de l'entraînement du liquide de recouvrement par le produit métallurgique 4 défilant dans la zone centrale de l'enceinte 1.
- la pression partielle P_l qui résulte de l'entraînement du liquide de recouvrement par le produit métallurgique 4 défilant au travers du canal de sortie de l'enceinte 1.

Suivant l'invention, ces deux pressions partielles d'entraînement se calculent à partir des écoulements de Couette similaires en tenant compte de la longueur de la zone centrale de l'enceinte 1, de la longueur du canal de sortie 8 sur laquelle pénètre le zinc, ainsi que des pertes de charge par unité de longueur dans ladite zone centrale et, respectivement, dans ledit canal de sortie 8 de l'enceinte 1.

a) longueur de l'enceinte de galvanisation 1 à prendre en compte

Le choix de la longueur de l'enceinte conditionne le comportement de l'écoulement liquide au voisinage du

produit métallurgique 4 : laminaire, faiblement turbulent ou turbulent. Le calcul consiste à choisir une longueur d'enceinte 1 a priori, dont on vérifie a posteriori qu'elle est inférieure à la longueur de Couette critique dans l'enceinte 1. Suivant la géométrie de l'enceinte 1 représentée sur le dessin, qui est symétrique par rapport à la zone d'alimentation centrale, la longueur à prendre en compte est, en fait, la demie longueur L_c de l'enceinte, prise ici égale à 25 centimètres.

b) perte de charge par unité de longueur dans la zone centrale de l'enceinte

La perte de charge par unité de longueur est classiquement reliée à la force de frottement par unité de surface. Dans le cas axisymétrique de l'enceinte de galvanisation 1 considérée, cette relation s'exprime simplement en fonction du diamètre hydraulique de l'espace annulaire compris entre le produit métallurgique 4 et les parois internes de ladite enceinte 1, de la densité volumique du liquide de recouvrement, du carré de la vitesse de l'écoulement et d'un coefficient de perte de charge, lui-même proportionnel à un coefficient de frottement global dépendant de la rugosité des surfaces et du nombre de Reynolds caractérisant l'écoulement, c'est-à-dire, finalement, de la loi de paroi au voisinage du produit métallurgique 4.

b1) diamètre hydraulique à prendre en compte

Une analyse purement hydrodynamique du profil de vitesse d'un écoulement de Couette turbulent entre deux plaques planes permet de se rendre compte assez facilement que le diamètre hydraulique à prendre en compte pour un canal annulaire est égal à quatre fois l'espace annulaire. On remarquera que l'on se place d'office dans le cas d'un écoulement supposé turbulent car un calcul approché du nombre de Reynolds hydraulique au voisinage du produit métallurgique 4, lequel se déplace à assez grande vitesse (à savoir $V_b = 1$ m/s), montre que le régime de l'écoulement est sûrement turbulent.

Typiquement, l'enceinte de galvanisation 1 est presque partout cylindrique et présente un diamètre T_c sensiblement constant qui, dans l'exemple chiffré développé par la suite, sera pris égal à 40 millimètres.

Le diamètre du produit métallurgique 4 est, quant à lui, pris égal à 10 millimètres, ce qui donne un espace annulaire e_c égal à 15 millimètres, et un diamètre hydraulique D_{He} de 60 millimètres dans la zone centrale de l'enceinte 1.

b2) loi de paroi

Dans le cas d'un conduit annulaire de rugosité donnée, où s'établit un écoulement dont on connaît le nombre de Reynolds, on sait que le coefficient de perte de charge est proportionnel à un coefficient de frottement

global C_F que l'on peut obtenir à l'aide des formules ou des abaques de Karman-Nikuradzé ; ces formules sont également valables pour les parois pleinement lisses.

- 5 - le nombre de Reynolds hydraulique R_{ec} est calculé en fonction du diamètre hydraulique D_{He} , de la vitesse V_b (qui est un maximum pour la vitesse moyenne de l'écoulement) et de la viscosité cinématique du zinc à la température considérée (de l'ordre de 450°). On trouve $R_{ec} = 120\ 000$, ce qui signifie que l'écoulement est bien légèrement turbulent.
- 10 - la rugosité uniforme équivalente de la paroi du produit métallurgique 4 est prise égale à 0,35 millimètres, pour un fer à béton de diamètre égal à 10 millimètres.
- 15 - les abaques de Karman-Nikuradzé fournissent alors un coefficient de frottement global $C_{Fc} = 0,0083$, ce qui permet de calculer le coefficient de perte de charge dans la zone centrale de l'enceinte 1.

c) pression partielle d'entraînement dans la zone centrale de l'enceinte

Cette pression partielle P_c est égale à la demie longueur L_c de l'enceinte multipliée par le coefficient de perte de charge calculé précédemment. On trouve $P_c = 190$ Pa (ou 19 millibars).

d) pression partielle d'entraînement dans la partie du canal de sortie 8 de l'enceinte 1 où pénètre le zinc

Cette pression partielle P_i est égale à la longueur L_i de zinc dans le canal 8 multipliée par le coefficient de perte de charge de l'écoulement dans ledit canal 8.

Le principe du calcul de ce dernier coefficient est identique à ce qui a été détaillé précédemment pour le calcul du coefficient de perte de charge dans la zone centrale de l'enceinte 1, seules différant les valeurs numériques à prendre en compte.

A cet égard, le nombre de Reynolds hydraulique R_{ei} est calculé en fonction du diamètre hydraulique D_{Hi} du conduit annulaire compris entre le produit métallurgique 4 et les parois du canal de sortie 8, dont le diamètre T_f est égal à 16 millimètres, ce qui donne un espace annulaire e_i égal à 3 millimètres et, donc, D_{Hi} égal à 12 millimètres. Dans ces conditions, R_{ei} vaut environ 24 000.

La rugosité uniforme équivalente de la paroi du produit métallurgique 4 étant bien sûr toujours identique, les abaques de Karman-Nikuradzé fournissent un coefficient de frottement global $C_{Fi} = 0,0146$.

Comme on ne connaît pas a priori la longueur L_i , on calcule tout d'abord le gradient de la pression d'entraînement dans le canal de sortie 8, qui est égal à 12 900 Pa/m, puis on écrit l'équilibre des pressions au niveau du ménisque de sortie du bain de galvanisation.

1.2. Calcul de la force de Lorenz nécessaire au maintien de la bulle de zinc dans l'enceinte de galvanisation 1

La somme des pressions calculées précédemment, à savoir ($P_{iso} + P_c + P_i$), doit être équilibrée par la pression magnétique volumique P_m engendrée dans le zinc par le champ glissant transverse créé au niveau de l'enroulement inducteur polyphasé 6 de sortie de l'enceinte 1.

On sait que la pression magnétique P_m est égale au produit de la conductibilité électrique du zinc à la température considérée, du carré de l'induction efficace B_{eff} de la longueur L_i sur laquelle agit le champ et d'un coefficient V_m tenant compte de la géométrie de l'inducteur 6. Si on choisit un demi-pas polaire égal à 7 centimètres et une fréquence d'excitation de 50 Hz - ces deux valeurs fournissant la vitesse de déplacement axial du champ magnétique glissant, encore appelée vitesse de dérive -, l'induction efficace B_{eff} étant choisie égale à 0,07 Teslas, on trouve le gradient de pression magnétique nécessaire au maintien de la bulle de zinc dans l'enceinte de galvanisation 1, soit 87 000 N/m³.

On est alors capable de calculer la valeur de la longueur L_i et de vérifier qu'elle reste inférieure à la longueur de Couette. On trouve ici $L_i = 2,1$ centimètres, ce qui signifie que le zinc pénètre très peu dans le canal de sortie 8, puisque la longueur de l'enroulement inducteur 6, donnée par le demi-pas polaire, est égale à 28 centimètres.

De manière générale, on "s'arrangera" toujours pour que le liquide de recouvrement ne pénètre pas, dans le canal de sortie 8, au-delà de la moitié de la longueur de l'enroulement inducteur 6, cette condition pouvant être simplement remplie :

- soit en réglant la fréquence d'excitation du courant alternatif créant l'induction efficace B_{eff} ,
- soit en réglant l'intensité dudit courant alternatif.

2. Problème de l'essuyage

L'épaisseur déposée sur le produit métallurgique 4 se calcule normalement en deux étapes, à savoir :

- dans la zone du canal de sortie 8 où pénètre le zinc (soit sur la longueur L_i), la force volumique d'origine magnétique V_m est comparable à une force d'origine gravitaire ; on peut ainsi admettre que les résultats du modèle de Landau et Levitch, développé pour connaître l'épaisseur entraînée par une plaque plane extraite à la verticale d'un bain liquide horizontal, sont applicables dans cette zone du canal de sortie 8.
- dans la partie du canal de sortie 8 située derrière le ménisque d'équilibre du bain liquide, le champ magnétique transverse glissant agit sur le film liquide pour l'amincir, l'épaisseur du film au niveau dudit ménisque étant égale à celle prévue par le calcul

précédent de Landau et Levitch.

2.1. Epaisseur du film liquide donnée par le modèle de Landau Levitch

Ce modèle tient compte, par une formule complexe pouvant être retrouvée sur la référence mentionnée plus haut : de la tension superficielle du liquide (ici le zinc fondu à 450°C), de sa viscosité dynamique turbulente (elle-même proportionnelle au coefficient de frottement global C_{Fi}), de la vitesse V_b du produit 4 et de l'intensité des forces volumiques développées dans le zinc, que l'on vient juste de calculer pour le problème de l'étanchéité.

En calculant l'épaisseur donnée par ce modèle, on constate qu'elle varie inversement à la racine carrée de l'intensité des forces volumiques d'origine magnétique ; ce résultat bien sûr attendu signifie que l'on peut assez sensiblement modifier l'épaisseur en question, en augmentant ou en diminuant l'intensité des forces volumiques, ceci en jouant principalement sur l'intensité de l'induction magnétique efficace B_{eff} . Ce réglage, qui modifie la position du ménisque dans le canal de sortie 8, est possible dans une plage de valeurs de B_{eff} où, selon le critère indiqué plus haut, le liquide de recouvrement ne pénètre pas, dans le canal de sortie 8, au-delà de la moitié de la longueur de l'enroulement inducteur 6. Ce critère recouvre à peu près celui selon lequel L_i n'excède pas la longueur de Couette de l'écoulement situé dans le canal de sortie 8 de l'enceinte de galvanisation 1, c'est-à-dire que ledit écoulement demeure faiblement turbulent ; si l'un de ces critères n'est plus observé, la turbulence rend totalement inadéquat le modèle de Landau et Levitch.

2.2. Longueur d'essuyage magnétique effective

Cette longueur d'essuyage magnétique effective est définie comme la longueur résiduelle du canal de sortie 8, située derrière le ménisque d'équilibre du bain de galvanisation, et sur laquelle le champ magnétique transverse glissant est toujours susceptible d'agir.

Les possibilités de réglage de l'épaisseur à ce niveau sont cependant réduites puisque toutes les caractéristiques de l'enceinte 1 et de l'inducteur 6 sont déjà fixées. Le calcul de l'amincissement du film liquide jusqu'à l'extrémité aval du canal de sortie 8 peut être effectué par le calcul de l'écoulement à "surface libre" du film liquide sur la surface du produit métallurgique rugueux 4. En fait, on s'aperçoit que cet amincissement reste négligeable dans la plupart des cas.

Une approximation pratique généralement correcte consiste donc, dans le calcul de l'essuyage, à ne tenir compte que de l'épaisseur du film liquide donnée par le modèle de Landau et Levitch.

3. Généralisation

Le dimensionnement d'une enceinte de galvanisation 1 et de son inducteur 6 de sortie dépend d'abord des dimensions et de la rugosité éventuelle des produits métallurgiques 4 à revêtir du matériau métallique fondu choisi. On établit alors la géométrie de l'inducteur 6 pour que, à proximité de la surface des produits 4, le champ magnétique crée soit transverse et glissant. On cherche ensuite, pour une large gamme de vitesse de défilement V_b des produits 4 au travers de l'enceinte 1, la fréquence, le pas polaire et l'intensité de l'induction efficace B_{eff} qu'il convient de prendre pour équilibrer les pressions sous la première moitié de l'inducteur 6. Pour que les fuites magnétiques ne soient pas trop importantes, une règle de dimensionnement supplémentaire consiste à prendre un entrefer tel que le rapport du demi-pas polaire sur ledit entrefer ne soit pas supérieur à 3 ; ceci définit un coefficient dit "de carter" entre l'induction efficace B_{eff} et l'induction B_0 créée par l'enroulement inducteur 6, laquelle est alors donnée par une loi de Byot et Savard correspondant à la géométrie des bobines de l'inducteur 6. On applique enfin le modèle de Landau et Levitch pour calculer l'épaisseur déposée sur les produits métallurgiques 4 correspondant à chacune des vitesses V_b choisies. On peut également reporter, sur le même graphe, la longueur L_i sur laquelle le liquide de revêtement pénètre dans le canal de sortie 8 de l'enceinte 1. Un tel graphe, correspondant à l'exemple traité ci-dessus, est donné sur la figure 2.

La plupart des résultats précédents demeurent valables dans le cas d'une installation de galvanisation verticale.

Revendications

1. Procédé de dimensionnement d'une enceinte de galvanisation pourvue d'au moins un dispositif d'étanchéité et/ou d'essuyage du côté d'où ressortent les produits métallurgiques ayant traversé un bain liquide de recouvrement contenu dans ladite enceinte, ledit dispositif étant préférentiellement un élément inducteur agencé à cet effet autour d'un canal de sortie de l'enceinte pour produire un champ électromagnétique transverse, alternatif et glissant, au niveau de la surface desdits produits, caractérisé en ce qu'il consiste à calculer ou à vérifier, à partir principalement : des dimensions transversales de ladite enceinte, de sa longueur axiale, de la section transversale desdits produits, de leur vitesse, de la viscosité dynamique dudit liquide de recouvrement, de sa pression dans l'enceinte, des dimensions transversales du canal de sortie de l'enceinte, de la vitesse de déplacement du champ électromagnétique glissant et de son intensité dans ledit liquide, et enfin d'un paramètre représentatif de la rugosité éventuelle des produits métallurgiques, les condi-

tions pour lesquelles les longueurs de Couette associées respectivement à l'écoulement du liquide de recouvrement dans l'enceinte et dans son canal de sortie restent inférieures aux valeurs critiques au-delà desquelles lesdits écoulements deviennent nettement turbulents.

2. Procédé de dimensionnement d'une enceinte de galvanisation selon la revendication précédente, caractérisé en ce que l'épaisseur de la couche limite laminaire ou turbulente de l'écoulement à l'entrée du canal de sortie de l'enceinte de galvanisation est maintenue en dessous d'une valeur limite au delà de laquelle il n'est plus possible de contrôler son augmentation.
3. Procédé de dimensionnement d'une enceinte de galvanisation selon la revendication précédente, caractérisé en ce que l'épaisseur déposée sur les produits métallurgiques traités est donnée, en fonction de leur vitesse de défilement dans l'enceinte de galvanisation, par une formule analogue à celle utilisée dans le modèle hydrodynamique de Landau et Levitch.
4. Procédé de dimensionnement d'une enceinte de galvanisation selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la rugosité éventuelle des produits métallurgiques traités est prise en compte, pour le calcul de l'épaisseur déposée, au travers de la loi de paroi de l'écoulement au voisinage immédiat du produit métallurgique à revêtir.
5. Procédé de dimensionnement d'une enceinte de galvanisation selon la revendication précédente, caractérisé en ce que la loi de paroi à prendre en compte est celle connue sous le nom de Karmann-Nikuradzé.
6. Procédé de dimensionnement d'une enceinte de galvanisation selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que, dans le cas où l'on emploie un élément inducteur du type d'un enroulement polyphasé (6), on règle l'intensité du courant alternatif créant l'induction efficace B_{eff} pour que le liquide de recouvrement ne pénètre pas au-delà de la moitié de la longueur de l'enroulement inducteur (6) qui est agencé autour du canal de sortie (8) de l'enceinte de galvanisation (1).
7. Procédé de dimensionnement d'une enceinte de galvanisation selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que, dans le cas où l'on emploie un élément inducteur du type d'un enroulement polyphasé (6), on règle la fréquence d'excitation du courant alternatif créant l'induction efficace B_{eff} pour que le liquide de recouvrement ne

pénètre pas au-delà de la moitié de la longueur de l'enroulement inducteur (6) qui est agencé autour du canal de sortie (8) de l'enceinte de galvanisation (1).

8. Procédé de dimensionnement d'une enceinte de galvanisation selon la revendication précédente, caractérisé en ce que l'entrefer de l'enroulement inducteur polyphasé (6) est choisi tel que le rapport du demi-pas polaire sur ledit entrefer n'est pas supérieur à 3.

Patentansprüche

1. Dimensionierungsverfahren für einen Metallbeschichtungsbehälter, der auf derjenigen Seite, wo die metallurgischen Produkte wiederaustreten, welche ein in dem Behälter enthaltenes flüssiges Beschichtungsbad durchquert haben, mit mindestens einer Abdicht- und/oder Abwisch-Vorrichtung versehen ist, wobei die Vorrichtung vorzugsweise ein Induktoelement ist, das zu diesem Zweck um einen Austrittskanal des Behälters herum angeordnet ist, um auf dem Niveau der Oberfläche der Produkte ein quer verlaufendes elektromagnetisches Wechsel- und Wanderfeld zu erzeugen, dadurch gekennzeichnet, daß es darin besteht, hauptsächlich aus: Querabmessungen des Behälters, seiner axialen Länge, dem Querschnitt der Produkte, ihrer Geschwindigkeit, der Scherviskosität der Beschichtungsflüssigkeit, ihrem Druck im Behälter, Querabmessungen des Austrittskanals des Behälters, der Verschiebegeschwindigkeit des elektromagnetischen Wanderfelds und seiner Stärke in der Flüssigkeit und schließlich einem charakteristischen Parameter für die eventuelle Rauigkeit der metallurgischen Produkte die Bedingungen zu berechnen oder zu überprüfen, für welche die jeweils mit der Strömung der Beschichtungsflüssigkeit im Behälter und in seinem Austrittskanal verbundenen Couette-Längen unterhalb von kritischen Werten bleiben, von denen ab die Strömungen deutlich turbulent werden.
2. Dimensionierungsverfahren für einen Metallbeschichtungsbehälter nach dem vorangehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, daß die Dicke der laminaren oder turbulenten Grenzschicht der Strömung am Einlaß des Austrittskanals des Metallbeschichtungsbehälters unterhalb eines Grenzwerts gehalten wird, von dem an es nicht mehr möglich ist, ihre Zunahme zu steuern.
3. Dimensionierungsverfahren für einen Metallbeschichtungsbehälter nach dem vorangehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, daß die auf den behandelten metallurgischen Produkten abge-

schiedene Dicke in Abhängigkeit von deren Durchlaufgeschwindigkeit im Metallbeschichtungsbehälter durch eine Formel angegeben wird, die derjenigen analog ist, die beim hydrodynamischen Modell von Landau und Levitch verwendet wird.

4. Dimensionierungsverfahren für einen Metallbeschichtungsbehälter nach einem beliebigen der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die eventuelle Rauigkeit der behandelten metallurgischen Produkte durch das Wandgesetz der Strömung in unmittelbarer Nähe des zu überziehenden metallurgischen Produkts berücksichtigt wird.
5. Dimensionierungsverfahren für einen Metallbeschichtungsbehälter nach dem vorangehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, daß das zu berücksichtigende Wandgesetz dasjenige ist, das unter dem Namen Karman-Nikuradzé bekannt ist.
6. Dimensionierungsverfahren für einen Metallbeschichtungsbehälter nach einem beliebigen der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß man in dem Fall, wo man ein Induktoelement vom Typ mit einer Mehrphasenwicklung (6) verwendet, die Stärke des die wirksame Induktion B_{eff} erzeugenden Wechselstroms regelt, auf daß die Beschichtungsflüssigkeit nicht über die Mitte der Länge der Induktorwicklung (6), welche um den Austrittskanal (8) des Metallbeschichtungsbehälters (1) herum angeordnet ist, hinausdringt.
7. Dimensionierungsverfahren für einen Metallbeschichtungsbehälter nach einem beliebigen der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß man in dem Fall, wo man ein Induktoelement vom Typ mit einer Mehrphasenwicklung (6) verwendet, die Erregungsfrequenz des die wirksame Induktion B_{eff} erzeugenden Wechselstroms regelt, auf daß die Beschichtungsflüssigkeit nicht über die Mitte der Länge der Induktorwicklung (6), welche um den Austrittskanal (8) des Metallbeschichtungsbehälters (1) herum angeordnet ist, hinausdringt.
8. Dimensionierungsverfahren für einen Metallbeschichtungsbehälter nach dem vorangehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, daß der Luftspalt der Mehrphasen-Induktorwicklung (6) derart gewählt wird, daß das Verhältnis der halben Polteilung auf dem Luftspalt nicht größer als 3 ist.

Claims

1. A method of dimensioning an electroplating enclosure provided with at least one sealing device and/

- or wiping device at the point where the metallurgical products exit, having passed through a liquid coating bath contained in the said enclosure, the said device being preferably an inductive element arranged to this effect around an exit port of the enclosure in order to produce a transverse electromagnetic field alternating and sliding at the surface level of the said products, **characterised in that** it consists of calculating or verifying principally the transverse dimensions of the said enclosure, its axial length, the transverse section of the said products, their speed, the dynamic viscosity of the said coating liquid, its pressure in the enclosure, the transverse dimensions of the exit port of the enclosure, the displacement speed of the sliding electromagnetic field and its intensity in the said liquid, and finally a parameter representative of the possible roughness of the metallurgical products, the conditions for which the 'Couette' lengths associated respectively with the coating liquid flow in the enclosure and in its exit port remain below the critical values above which the said flow becomes substantially turbulent.
2. A method of dimensioning an electroplating enclosure according to the preceding Claim, **characterised in that** the thickness of the laminar or turbulent coating limit, of the flow at the inlet of the exit port of the electroplating enclosure is maintained below a limit value above which it is no longer possible to control its increase.
 3. A method of dimensioning an electroplating enclosure according to the preceding Claim, **characterised in that** the thickness deposited on the treated metallurgical products is given as a function of their flow speed in the electroplating enclosure by a formula similar to that used in the hydrodynamic model of Landau and Levitch.
 4. A method of dimensioning an electroplating enclosure according to any one of the preceding Claims, **characterised in that** the possible roughness of the treated metallurgical products is taken into account for calculating the thickness deposited, by means of the law of flow partition in the immediate vicinity of the metallurgical product to be coated.
 5. A method of dimensioning an electroplating enclosure according to the preceding Claim, **characterised in that** the law of flow partition to be taken into account is the one known by the name of Karmann-Nikuradzé.
 6. A method of dimensioning an electroplating enclosure according to any one of the preceding Claims, **characterised in that** in the event that an inductive element of the polyphase winding (6) type is used

the intensity of the alternating current is regulated creating the effective B_{eff} induction in order that the coating liquid does not penetrate beyond half the length of the inductive winding (6) which is arranged around the exit duct (8) of electroplating enclosure (1).

7. A method of dimensioning an electroplating enclosure according to any one of Claims 1 to 5, **characterised in that** in the event of using an inductive element of the polyphase winding (6) type the excitation frequency of the alternating current is regulated creating an effective induction B_{eff} in order that the coating liquid does not penetrate beyond half the length of the inductive winding (6) which is arranged around the exit duct (8) of the electroplating enclosure (1).
8. A method of dimensioning an electroplating enclosure according to the preceding Claim, **characterised in that** the air gap of the polyphase inductive winding (6) is selected such that the ratio of the polar half-thread on the said air gap is no greater than 3.

